

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.3.4>

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕНОРМИРОВКИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ К ИЗОБРАЖЕНИЯМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ПОЛУЧЕННЫМ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

А. В. Кокошкин

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
РАН, 141120, Московская обл., г. Фрязино, пл. Введенского, 1

Статья поступила в редакцию 7 марта 2021 г.

Аннотация. В работе предлагается применение метода перенормировки с ограничением (МПО) для подавления спекл-шума изображений РСА. Это возможно потому, что метод перенормировки с ограничением, по своему определению, перенормирует спектр изображения РСА к модели универсального опорного спектра (УОС), которая является моделью спектра полутонного изображения "хорошего" качества. Для повышения общей резкости изображения, после применения МПО предложено использовать классический лапласиан. Проведённое исследование позволяет сделать заключение о том, что применение МПО к изображениям РСА позволяет существенно снизить спекл-шум.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, дистанционное зондирование, изображения РСА, обработка изображений, спекл-шум, метод перенормировки с ограничением.

Abstract. This article proposes an application of the method of renormalization with limitation (MRL) to suppress speckle noise in SAR images. This is because the method of renormalization with limitation, by its definition, renormalizes the SAR image spectrum to a universal reference spectrum (URS) model, which is a "good" quality grayscale spectrum model. To increase the overall sharpness of the image, consistently with the MRL, it is proposed to apply the classical Laplacian. This study

allows us to conclude that the application of MRL to SAR images can significantly reduce speckle noise.

Key words: synthetic aperture radar, remote sensing, SAR images, image processing, speckle noise, method of renormalization with limitation.

Введение

В настоящее время радиолокационные системы с синтезированием апертуры антенны (РСА) чрезвычайно широко используются в различных технологиях дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С помощью РСА можно получать радиолокационные изображения (РЛИ) поверхности Земли вне зависимости от наличия облачности и времени суток. Важным параметром РСА является длина волны сигнала, которая определяет, насколько далеко излучение может проникнуть в исследуемую среду. РСА используют в большом количестве прикладных задач, таких как: экология, природные ресурсы, археология, сельское хозяйство, чрезвычайные ситуации, промышленная и оборонная безопасность. Однако, качество получаемых радиолокационных изображений (как и ультразвуковых изображений) страдает от мультипликативного спекл-шума. Он возникает из-за интерференции волн, вызванной множественным рассеянием от малых относительно элемента разрешения отражателей. Спекл-шум проявляется в виде светлых пятен (и ярких точек), беспорядочно разбросанных по всему полю изображения. Поэтому, зачастую, РЛИ публикуются уже в отредактированном виде, т.е. по возможности очищенными от спекл-шума тем или иным способом. Все известные методы подавления спекл-шума направлены на то, чтобы очистить изображение от паразитных артефактов, убрать зернистость, более четко выделить границы исследуемых областей и объектов на изображении. Борьба со спеклами ведётся по двум направлениям. Первое – это усовершенствование аппаратуры РСА, где с помощью различных технических средств повышается качество визуализации. Второе – это цифровая обработка уже полученного изображения.

Предлагаемая работа посвящена второму направлению борьбы со спеклами – цифровой обработке изображений. Часто употребляемыми способами борьбы с подобными шумами являются методы от простого локально-усредняющего пространственного фильтра и медианной фильтрации до применяемых ко всему изображению алгоритмов, винеровской и калмановской фильтрации [1]. Применяют также фрактальное кодирование [2, 3]. При внимательном изучении изображений, полученных при ультразвуковых исследованиях и обработанных "классическим" методом перенормировки с ограничением (МПО), обнаружено существенное снижение присущего им спекл-шума. Необходимо сказать, что этот момент не был отмечен в работе [4], и это требует дальнейшего исследования. В этой связи, поскольку формирование изображений УЗИ по своему механизму родственно созданию изображений РСА, возникла идея описать особенности применения МПО к изображениям РСА. Для улучшения качества изображений РСА предлагается обработать их с помощью метода перенормировки с ограничением. Делается это для того, чтобы в среднем аксиально-симметричная (изотропная) часть амплитудного пространственного спектра исследуемых изображений стала соответствовать модели Универсального опорного спектра (УОС), т.е. модели спектра изображения "хорошего" качества [5, 6]. При этом необходимо заметить, что наиболее значимая информация о контурах областей и объектов на изображении содержится не в амплитудной, а в фазовой части спектра. Таким образом, при устранении возможных шумов и искажений все границы сред и локализация объектов на изображениях РСА сохранятся. Целью представленной работы является описание эффекта подавления спекл-шума с помощью МПО.

1. Тестирование применения МПО к изображениям РСА

Применение метода перенормировки с ограничением к изображениям РЛС с синтезированием апертуры антенны демонстрируется на примере рис.1 – радиолокационного изображения фрагмента города Сан-Диего, США (размером 770 на 470 пикселей), полученного на официальном сайте

Спутникового центра Европейского союза (The European Union Satellite Centre: https://www.satcen.europa.eu/page/sar_course_sar).



Рис.1. Исходное изображение РСА (фрагмент города Сан-Диего, США).

Используем реализацию МПО в своём "классическом" варианте, т.е. таким же, как было представлено в [5, 6] и зарегистрировано в свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ [7]. Т.е. изображение РСА перенормируется на модель универсального опорного спектра. Предполагается, что какому-либо размытию исходное изображение не подвергалось, поэтому искажающая аппаратная функция принимается "игольчатой", т.е. шириной много менее одного пикселя.

На рис.2 показано применение метода перенормировки с ограничением к изображению рис.1. При сравнительном рассмотрении рис.1 и рис.2 можно отметить, что вместе с подавлением спекл-шума происходит некоторое снижение общего контраста изображения. Поэтому, в качестве дополнительного улучшения, проведем повышение резкости рисунка 2 с

помощью стандартного Лапласиана, инвариантного к повороту изображения на 45 градусов [8]. Результат этой операции показан на рис.3.

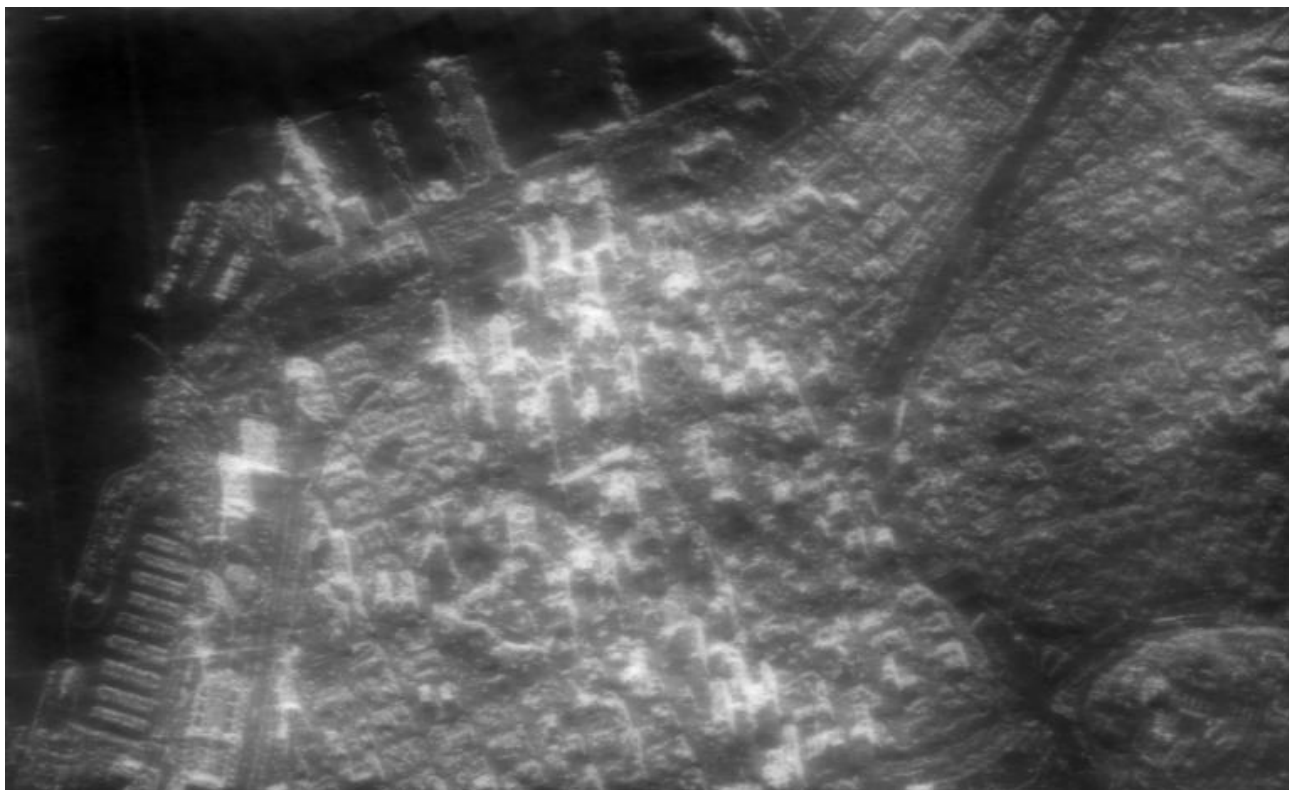


Рис.2. Результат применение МПО к изображению рис.1.

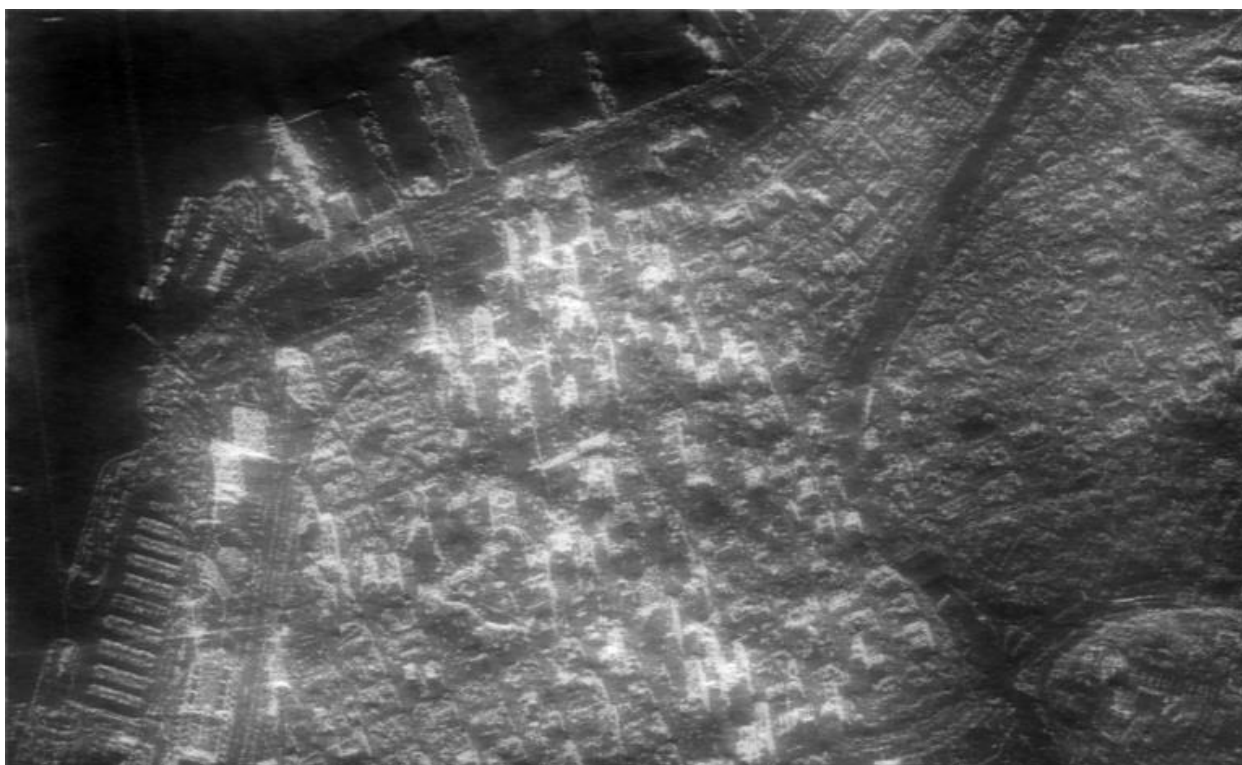


Рис.3. Результат применения лапласиана к изображению рис.2.

Для сравнительного анализа, в качестве альтернативного метода по борьбе со спекл-шумами на изображениях РСА, используем часто употребляемую медианную фильтрацию с квадратным ядром 3 на 3 пикселя. Результат обработки показан на рис.4.



Рис.4. Результат применения медианной фильтрации к изображению рис.1.

Для удобства вычислений пространственных спектров и статистических характеристик ниже приводятся результаты, относящиеся к квадратному изображению размером 468 на 468 пикселей, являющемуся частью исходного (рис.1). Т.е. изображения, показанные на рис.1, рис.2, рис.3 и рис.4, обрезаются справа до получения квадратной формы. Кроме того, для наглядности привлекается условно "такое же" (в соответствующем масштабе) оптическое аэрокосмическое изображение этого места, но сделанное в другое время. Его фрагмент (меньшего размера, чем 468 на 468) показан на рис.5а. Это изображение вполне можно считать прототипом реальной сцены для изображения РСА (рис.5б) - фрагмент рис.1, поскольку на последнем все очертания порта и строения города хорошо просматриваются. Виден даже пришвартованный авианосец, а небольшие суда на глобальную статистику

изображения существенного влияния не оказывают. Рис.5в демонстрирует соответствующий рисункам 5а и 5б фрагмент рис.3 (МПО плюс лапласиан). В свою очередь на рис.5г показано применение медианной фильтрации к изображению РСА (фрагмент рис.4).

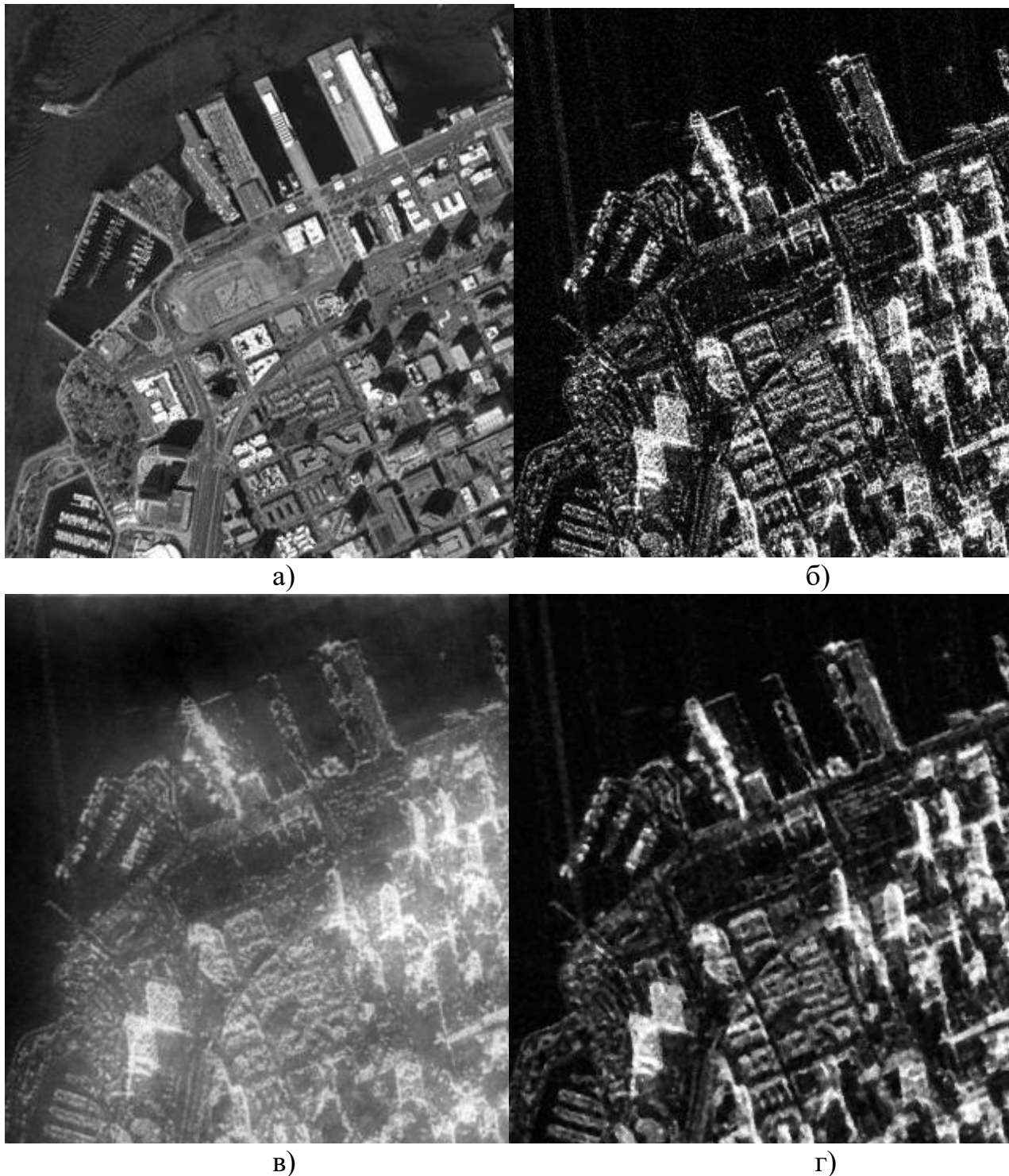


Рис.5. Фрагменты исследуемого изображения: оптического (прототип сцены для получения изображения РСА) - а); исходное РСА - б); РСА обработанное МПО и лапласианом; РСА после медианной фильтрации - г).

Объёмные виды пространственных яркостей для квадратных

изображений размером 468 на 468 пикселей показаны на рис.6. По вертикальной оси отложены значения яркостей пикселей в градациях серого (от нуля – чёрный, до 255 – белый). Две оставшиеся оси объёмного рисунка 6 показывают координаты пикселей яркости на поле изображения. Каждая буква рис.6 соответствует такой же букве на рисунке 5. Заметим, что изображения рисунка 5 по размеру меньше, чем 468 на 468 пикселей, поскольку они показаны в большем масштабе лишь для наглядности.

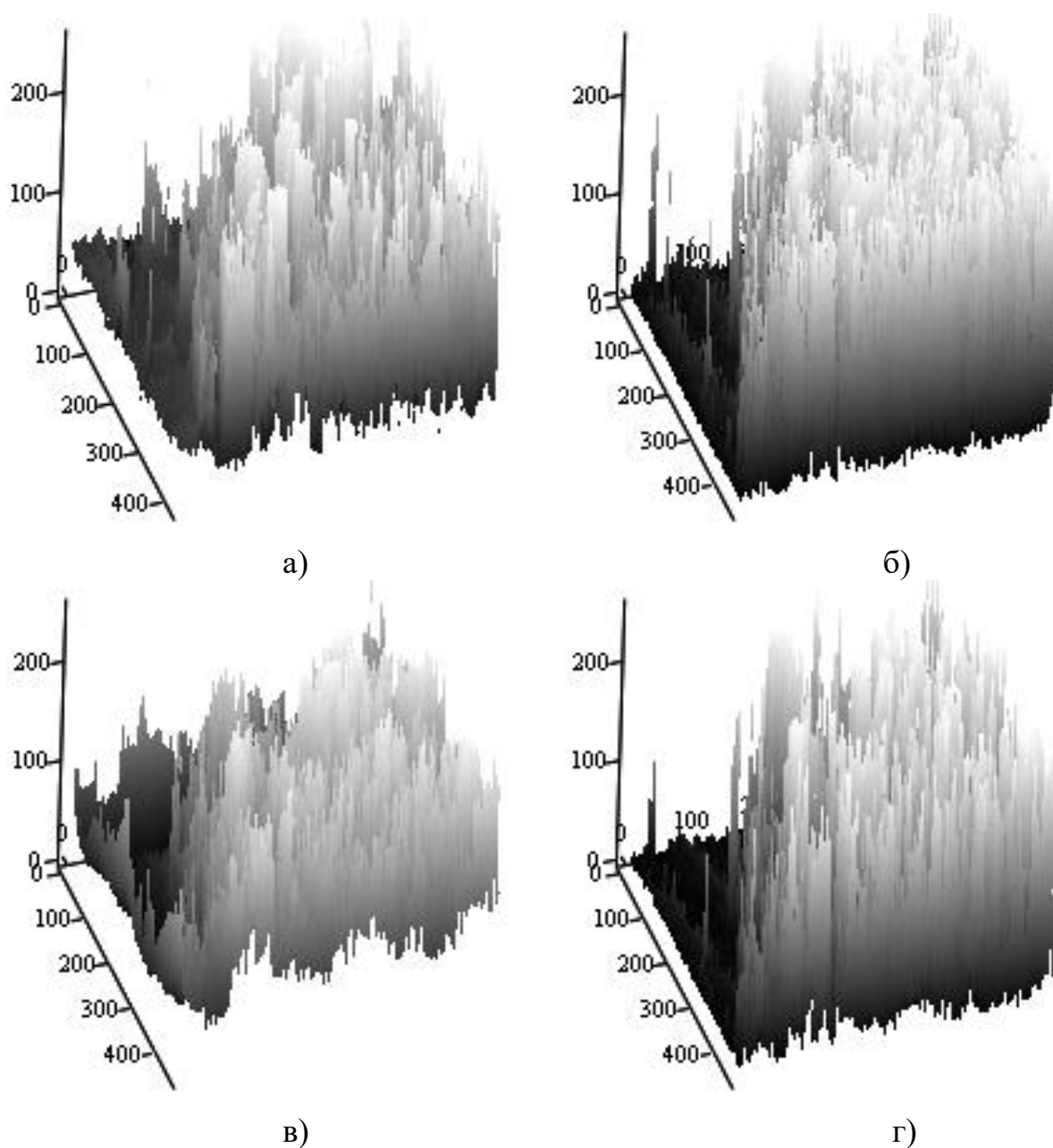


Рис.6. Объёмное изображение соответствующих пространственных яркостей оптического (прототип сцены для получения изображения PCA) - а); исходное PCA - б); PCA обработанное МПО и лапласианом; PCA после медианной фильтрации - г).

Изучение рис.6 позволяет сделать заключение о том, что по своей объёмной структуре наиболее близким к реальному оптическому изображению, которое можно условно принять за "идеальное" (рис.6.а), является обработка МПО (рис.6в). В то же время исходное изображение РСА (рис.6б) и его медианная фильтрация (рис.6г) заметно отличаются от упомянутых выше из-за большего разброса данных (по вертикали). Это утверждение подтверждается статистическими характеристиками пространственных яркостей на исследуемых изображениях размером 468 на 468 – таблица 1. Это среднее значение и среднее квадратичное отклонение (СКО).

Таблица 1. Статистические характеристики пространственных яркостей на изображениях.

	Оптическое изображение	РСА изображение	РСА изображение обработка МПО	РСА изображение обработка МПО и лапласианом	РСА изображение обработка Медианным фильтром
Среднее значение яркостей	85	56	99	99	53
СКО яркостей	49	65	53	55	58

Из данных таблицы 1 видно, что средние значения яркостей изображений РСА, обработанных методом перенормировки с ограничением (в том числе и с применённым последовательно лапласианом), равны 99, при 85 "идеальных" – присущих оптическому изображению. В то время как для изображения РСА и его обработки медианной фильтрацией средняя яркость соответственно равна 56 и 53 условных градаций яркости. Среднее квадратичное отклонение яркостей у МПО (53 и 55) тоже ближе к "идеальному" оптическому (49), чем СКО исходного изображения РСА (65) и его медианной фильтрации (58).

На рис.7, в логарифмическом масштабе, показаны амплитудные пространственные спектры исследуемых изображений размером 468 на 468 пикселей. Индексация рис.7 соответствует буквам рисунка 6.

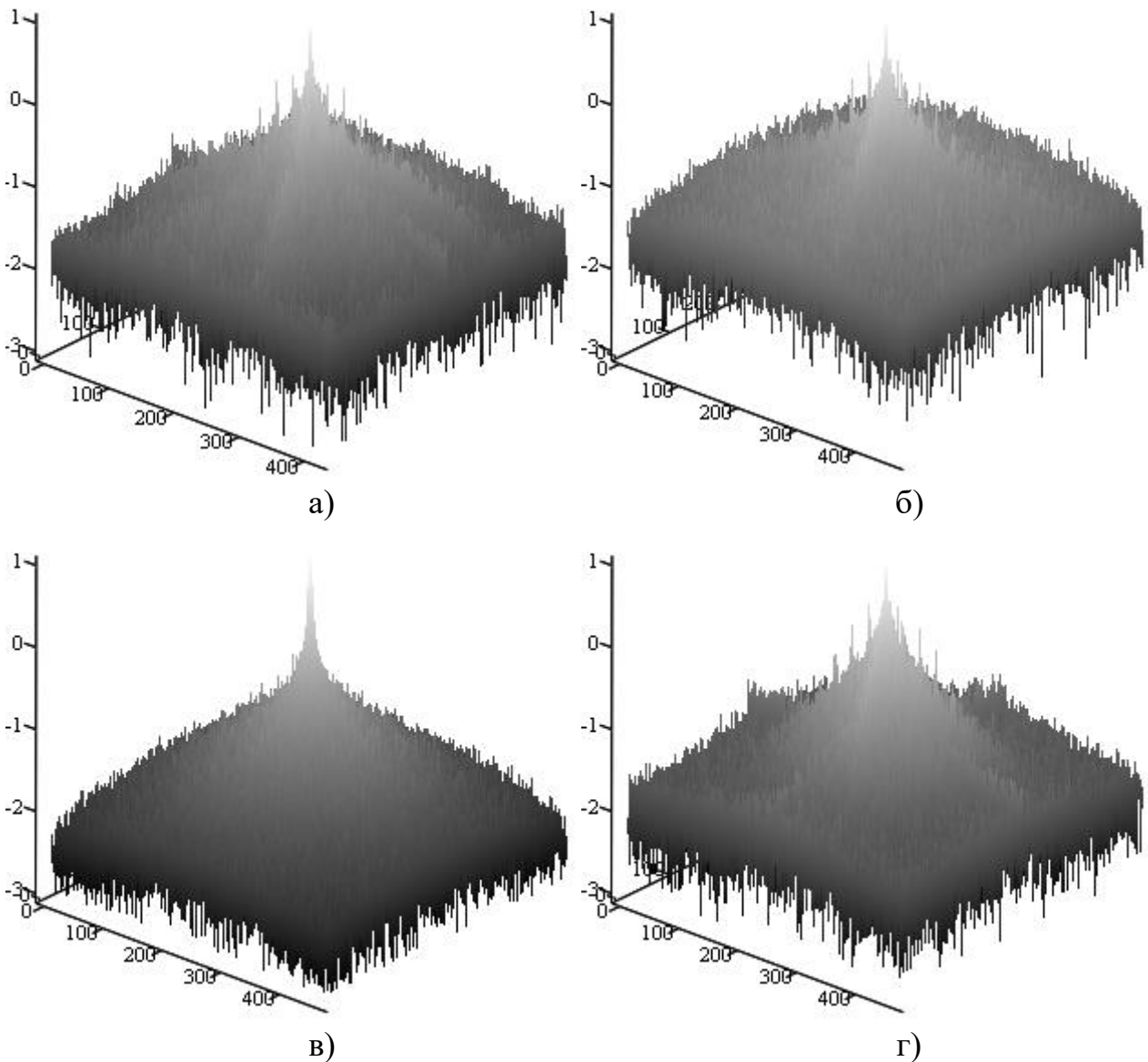


Рис.7. Амплитудные пространственные спектры, соответствующие объёмным изображениям рис.6. (в логарифмическом масштабе).

При изучении рис.7 можно сделать следующие выводы. Спектр МПО (рис.7в), по своему определению, перенормировал спектр РСА изображения (рис.7б) к модели универсального опорного спектра (УОС), которая является моделью спектра полутонного изображения "хорошего" качества [5, 6]. И, поскольку изображения РСА по своей структуре (см. рис.6 и табл.1) сильно отличаются от оптических изображений, то в качестве "платы" за это, в результате применения МПО к исходному рисунку 1, проявляется эффект "затуманивания" или лёгкой размытости изображения – рис.2. Чтобы снизить этот эффект, для повышения общей резкости изображения, здесь предложено

применить классический лапласиан [8] – рис.3. При этом применение МПО к изображениям РСА существенно лучше, чем медианная фильтрация снижает спекл-шум.

Заключение

Статья посвящена описанию особенностей применения МПО к изображениям РСА с целью снижения спекл-шума. Установлено, что применение МПО к изображениям РСА существенно снижает спекл-шум. Происходит это потому, что метод перенормировки с ограничением, по своему определению, перенормировал спектр изображения РСА к модели универсального опорного спектра (УОС), которая является моделью спектра полутонного изображения "хорошего" качества [5,6]. Поскольку изображения РСА по своей структуре значительно отличаются от оптических изображений, то в качестве "платы" за подавление спекла, в результате применения МПО, проявляется эффект "затуманивания" или лёгкой размытости изображения. Для повышения общей резкости изображения, здесь предложено применить классический лапласиан [8]. Всё вышеизложенное позволяет сделать заключение о том, что применение МПО к изображениям РСА позволяет существенно лучше, чем медианная фильтрация, снизить спекл-шум.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Литература

1. Achim A., Bezerianos A., Tsakalides P. Novel Bayesian Multiscale Method for Speckle Removal in Medical Ultrasound Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2001. Vol.20. No.8. P.772-783.
2. Ghazel M., Freeman G.H., Vrscaj E.R. Fractal image denoising. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2003. Vol.12. No.12. P.1560-1578.

3. Илюшин С.В. Подавление спекла на медицинских ультразвуковых изображениях при помощи фрактального кодирования. *T-Comm*. 2011. №3. С.22–26.
4. Кокошкин А.В. Применение метода перенормировки с ограничением к обработке медицинских ультразвуковых изображений. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2020. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.10.1>
5. Гуляев Ю.В., Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Коротков В.А., Черепенин В.А. Коррекция пространственного спектра, искаженного оптической системой, с помощью метода опорного изображения. Часть 3. Универсальный опорный спектр. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2013. №12. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/3/text.html>
6. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. Использование метода перенормировки с ограничением для восстановления искаженных изображений при наличии помех и шума с неизвестными параметрами. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2015. №7. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jul15/4/text.html>
7. Кокошкин А.В., Коротков В.А. Программа реализации метода перенормировки с ограничением для обработки радиоизображений. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2016661952 от 26.10.2016г.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. Москва, «Техносфера». 2005. 1071 с.

Для цитирования:

Кокошкин А.В. Применение метода перенормировки с ограничением к изображениям дистанционного зондирования, полученным с помощью радиолокаторов с синтезированной апертурой. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №3. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.3.4>